

# Automatisierte Volumenstrommessung in freigelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung

*Eine vom Institut für Landtechnik für Kurzzeitbetrachtungen eingesetzte Abklingmethode mit SF<sub>6</sub> zur Messung der Luftwechselraten in frei gelüfteten Ställen wurde automatisiert und in ersten Messungen erfolgreich getestet. Angesichts des einfachen Messaufbaus und der Validierung der Abklingmethode mit Messventilatoren stellt dieses Messsystem eine echte Alternative zu bisherigen kontinuierlichen Methoden zur Messung des Luftwechsels über den Tag dar. Über einen Zeitraum von mindestens zwölf Stunden kann das Messsystem quasi kontinuierlich ohne Betreuungsaufwand arbeiten.*

Dipl.-Ing. agr. Christoph Nannen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dr. Till Schneider ist wissenschaftlicher Assistent und Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn; e-mail: c.nannen@uni-bonn.de

## Schlüsselwörter

Luftvolumenstrom, Luftwechselzahl, Tracergas, Schwefelhexafluorid, Milchviehstall

## Keywords

Air volume flow, air exchange rate, tracer gas, sulphur hexafluoride, dairy cow houses

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 06607 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

In frei gelüfteten Ställen bestehen sehr komplexe Strömungsverhältnisse, die eine Bestimmung des Luftvolumenstroms im Vergleich zu den Bedingungen von zwangsgelüfteten Ställen erschweren. Im Allgemeinen werden Bilanzierungsmethoden eingesetzt, bei denen auf Grundlage des Wasserdampfes oder der CO<sub>2</sub>-Bilanz des Stalls der Luftvolumenstrom bestimmt wird. Zu diesen Methoden gehören auch die Tracergasmethoden; hier werden Massenbilanzen für systemfremde Tracergase (wie Schwefelhexafluorid, <sup>85</sup>Krypton [1], [2] oder Kohlenmonoxid [3]) aufgestellt. Beim Einsatz von Tracergasen wird zwischen kontinuierlichen Methoden und der Abklingmethode unterschieden. Das Institut für Landtechnik setzt die Abklingmethode ein, da diese durch Vergleichsmessungen mit der Messventilatormethode in einem zwangsgelüfteten Masthähnchenstall erfolgreich überprüft werden konnte [4]. Bei der Abklingmethode wird stoßartig Tracergas in den Raum eindosiert, dann die Tracergaszufuhr gestoppt und das Absinken der Konzentration gemessen. Auf Grundlage dieser Abklingkurve wird dann die Luftwechselrate kalkuliert. Damit zeigt diese Methode einen zeitlichen Ausschnitt der Luftwechselrate über den Zeitraum der Abklingkurve - ist also keine kontinuierliche Messmethode. Um eine quasi-kontinuierliche Messmethode aus der gut funktionierenden Abklingmethode zu entwickeln, wurde die Methode automatisiert. So können alle Schritte von der Eindosierung des Tracergases bis hin zum Spülen der Messkammer mit Reinluft computergesteuert durchgeführt werden. Auf diese

Weise erhält man eine Reihe von zufällig erfassten Abklingfunktionen, die einen repräsentativen Tagesverlauf des Luftvolumenstroms wiedergeben.

## Versuchsstall und Messmethodik

Der untersuchte Milchviehstall ist als 4-reihiger Liegeboxenstall mit einer Trauf-First-Lüftung konzipiert. Die Länge des Stalles beträgt 32 m, die Breite 24 m, die Traufhöhe 2,50 m und die Firsthöhe 9 m. An den Traufenseiten wurde über ein Kaskadensystem das Indikatorgasgemisch (SF<sub>6</sub> und N) in einem Abstand von 1,5 m eindosiert. Die Zuluftöffnungen haben eine Öffnungshöhe von 70 cm. Die Absaugung erfolgte am First. Auch hier ist ein Kaskadensystem angelegt worden, um eine homogene Mischprobe der Abluft zu gewährleisten. Dabei ragten die offenen Schlauchenden etwa 50 cm in den Stall hinein. Die Dosierungs- und Absaugschläuche bestehen aus PE und haben einen Innendurchmesser von 4 mm. Die Bestimmung der SF<sub>6</sub>-Konzentration in der Abluft erfolgte mit einem modifizierten Leakmeter 200 (Meltron Quantilek Messtechnik GmbH, heute: USON, Neuss). Dieses Gerät findet in der Leckagesuche Anwendung. Der Messbereich liegt zwischen 0 und 5 ppm. Als Trägergas fungiert Argon. Es besitzt mit einem Messintervall von einer Sekunde eine hohe zeitliche Auflösung. Um Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windanströmrichtung auf die Firstachse des

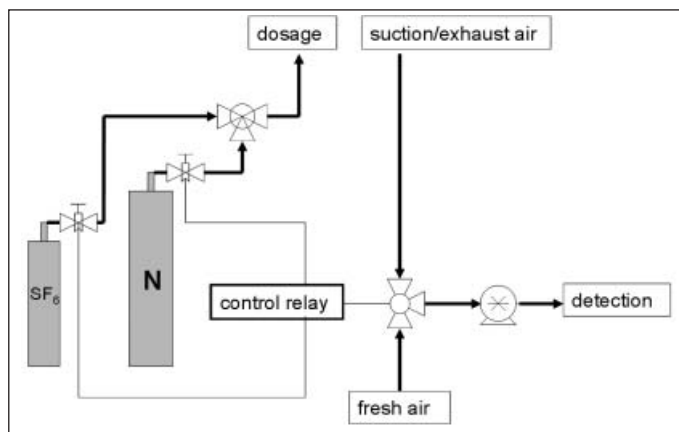


Bild 1: Aufbau der Messtechnik

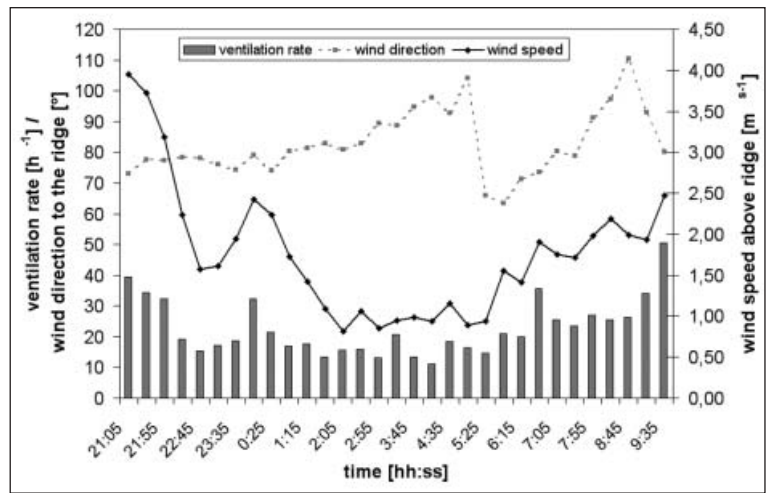
Fig. 1: Measurement setup

Stalles zu erfassen, wurde ein Ultraschallanemometer (Metek, Elmshorn) parallel zur Firstachse installiert. Den Messaufbau für die Tracergas-Technik zeigt *Bild 1*. Da es sich bei SF<sub>6</sub> um ein sehr dichtes Gas handelt, wird ein SF<sub>6</sub>-N-Gemisch in den Stall dosiert. Das Mischungsverhältnis wird über die sich an den Gasflaschen befindlichen Druckminderer eingestellt. An beide Gasflaschen sind zusätzlich elektromagnetische Ventile angeschlossen, die über eine Relaiskarte angesteuert werden können. Nach jeder gemessenen Abklingkurve wird Frischluft an das SF<sub>6</sub>-Messgerät geleitet, damit der Detektor und die Pumpe frei von Indikatorgasen sind. Die Umschaltung von Absaugung zu Frischluftzufuhr erfolgt ebenfalls durch Ansteuerung eines elektromagnetischen Ventils mit der Relaiskarte. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die beprobte Stallluft von der Messkammer abgeleitet wird. Eine Kontamination der Umgebungsluft des SF<sub>6</sub>-Messgerätes kann somit vermieden werden.

Die Relaiskarte wird über eine für diesen Zweck entwickelte Software bedient. Hier können für Dosierung, Messung und Beruhigung jeweils Zeitintervalle eingegeben werden. Ein Test der Ventile auf ihre Funktionsfähigkeit ist ebenfalls möglich. Beruhigung, Dosierung und Messung bilden einen Messzyklus. Die Anzahl der ablaufenden Messzyklen kann mit der Angabe der Wiederholungen eingestellt werden. Die Verbindung zum Messrechner erfolgt über einen USB-Anschluss. Die jetzt bestehende automatisierte Messtechnik wird je nach Klimabedingungen und Stallgröße eingestellt. Das System arbeitet zeitgesteuert, eine automatische Anpassung auf sich ändernde Windanströmungsgeschwindigkeiten oder -richtungen ist derzeit also noch nicht möglich. Größere Änderungen dieser Art müssten manuell eingestellt werden. Unter den in den Versuchen gegebenen Bedingungen ist die Dosierzeit mit drei Minuten konstant eingestellt worden. Diese Zeit reicht auch bei erhöhter Luftwechselrate aus, um genügend Indikatorgas einzudosieren und exakte Ab-

*Bild 3: Luftwechselrate, Windgeschwindigkeit und -richtung über zwölf Stunden*

*Fig. 3: Ventilation rate, wind speed and wind direction over 12 hours*



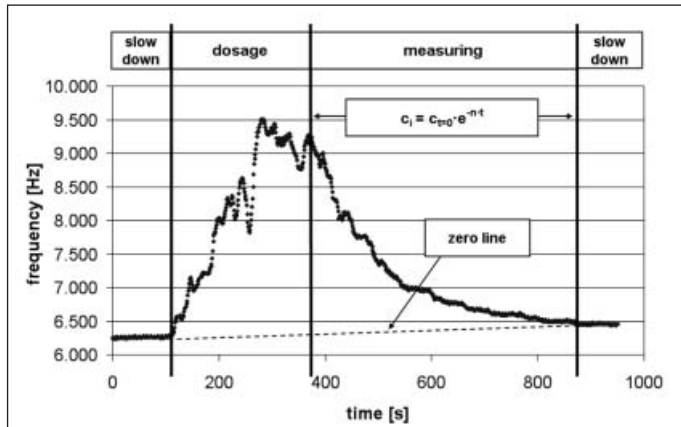
klingskurven aufzuzeichnen. Bei der Messzeit musste Bezug genommen werden auf Phasen mit niedrigem Luftwechsel, da ein Abklingen der Indikatorgaskonzentration zu 0 ppm gewährleistet werden sollte. Es gelang, alle 25 Minuten eine Luftwechselrate zu ermitteln.

Die Daten von SF<sub>6</sub>-Messgerät und Ultraschallanemometer können in einem Programm parallel gespeichert werden, so dass eine synchrone Zuordnung von Indikatorgaskonzentration und Klimadaten möglich ist.

### Ergebnisse und Diskussion

Aus den gewonnenen Daten lässt sich die Funktionsfähigkeit der automatisierten Tracergasmessung ableiten. In zwölf Stunden Messzeit konnten 31 Luftwechselraten gemessen werden, ohne dass eine Veränderung in den Einstellungen vorgenommen werden musste. *Bild 2* zeigt einen typischen Messzyklus aus dem untersuchten Milchviehstall. Nach Spülen der Messkammer mit Frischluft während der Beruhigungszeit wird für drei Minuten SF<sub>6</sub> eindosiert. Dabei erreicht die detektierte Tracergaskonzentration einen relativ konstanten Plateauwert. Während der Messzeit ist das exponentielle Abfallen der Konzentration von SF<sub>6</sub> erkennbar. Aus dieser Abklingkurve wird nach Korrektur der Daten mit der Nulllinie die Luftwechselzahl berechnet ( $c_t = c_{t=0} \cdot e^{-nt}$  mit  $n$  = Luftwechselrate in s<sup>-1</sup>). Der Messzyklus ist abgeschlossen, es folgt

wiederum eine Beruhigungszeit mit Spülung der Messkammer.



*Bild 2: Messzyklus zur Ermittlung der Luftwechselrate*

*Fig. 2: Measurement cycle to calculate the ventilation rate*

Die Ergebnisse der Messungen über zwölf Stunden sind in *Bild 3* zu sehen. Erwartete Schwankungen zwischen den einzelnen Luftwechselraten sind vorhanden, jedoch durch sich ändernde Windgeschwindigkeiten über der Firstachse zu erklären. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Luftwechselrate und der Windgeschwindigkeit von  $r = 0,76$ . Dagegen zeigt die Windrichtung an diesem Messtag einen geringen Einfluss auf die Höhe des Luftwechsels. Sie ist relativ konstant. Die eingestellten Parameter in der Software zur Steuerung der Ventile ermöglichen die Messung von Luftwechselraten von 10 h<sup>-1</sup> bis 50 h<sup>-1</sup>. Das entspricht einem Luftvolumenstrom von 40000 bis 200000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>. Auch niedrigere Luftwechselraten wären messbar gewesen, da genügend Restmesszeit vorhanden war.

Für die Bestimmung von Emissionen (Ammoniak, Aerosole) können auf diesem Weg 24 Stunden-Messungen angesetzt werden, um einen realen Tagesgang und -mittelwert für die Höhe der Emission berechnen zu können. Eine weitere Erhöhung der Messzeit ohne Unterbrechung ist jedoch nicht möglich, da das SF<sub>6</sub>-Messgerät in Abständen von etwa 24 Stunden gewartet werden muss.

### Fazit und Ausblick

Für die Messung von Schadgasen sollte der Tagesgang das kleinste Auswertungsintervall darstellen. Stundenweise Stichprobenmessungen führen zu erheblichen Fehlern bei der Betrachtung des realen Tagesmittelwerts. Durch Änderung der Tieraktivität oder betriebliche Arbeiten wie Fütterung, Melken, Reinigen entstehen Emissionsspitzen, die bis um den Faktor 7 vom Tagesmittelwert abweichen. Eine 24-stündige Erfassung der Luftfrate ist notwendig, um verlässliche Aussagen zur Emission von Schadgasen machen zu können. Mit der automatisierten Abklingmethode ist diese Forderung erfüllt. Sie arbeitet quasi kontinuierlich. Der Messaufbau gestaltet sich dabei als sehr einfach und kompakt und führt zu geringeren Kosten als bei anderen kontinuierlichen Methoden der Luftfratenmessung.